

**LONGITUDINALE VERLAUFSSTUDIE DER
AORTALEN PULSWELLENGESCHWINDIGKEIT (PWG)
UNTER BERÜCKSICHTIGUNG
SPONTANER
NORMOTONER DRUCKSCHWANKUNGEN**

Maximilian Hooffacker

1976



Digitized by the Internet Archive
in 2026

Aus dem Institut für die Prophylaxe der Kreislaufkrankheiten
bei der Universität München (August Lenz – Stiftung), München

Direktor: Professor Dr. med. Gustav Schimert

LONGITUDINALE VERLAUFSSTUDIE DER AORTALEN
PULSWELLENGESCHWINDIGKEIT (PWG) UNTER BERÜCKSICHTIGUNG
SPONTANER NORMOTONER DRUCKSCHWANKUNGEN



Inaugural-Dissertation
zur Erlangung der Doktorwürde in der gesamten Medizin
an der Ludwig-Maximilians-Universität zu München

vorgelegt von
Maximilian Hooffacker
aus München

1976

Mit Genehmigung des Fachbereichs Medizin der Universität
München

Berichterstatter: Prof. Dr. W. Schimmler

Mitberichterstatter: Prof. Dr. G. Schimert

Dekan: Prof. Dr. W. Spann

Tag der mündlichen Prüfung: 20. Juli 1976



Herrn Professor Dr. Schimmeler danke ich für die
Überlassung des Themas und die freundliche
Unterstützung.

INHALT

1. Einleitung

Die vorliegende Arbeit ist eine Zusammenfassung der Ergebnisse der Untersuchungen über die Wirkung von ...

2. Zielsetzung und Aufgabenstellung

Die Aufgabe der vorliegenden Arbeit ist es, die Wirkung von ...

3. Meinem Vater in Dankbarkeit gewidmet

4. Zusammenfassung

5. Literaturverzeichnis

Die vorliegende Arbeit ist eine Zusammenfassung der Ergebnisse der Untersuchungen über die Wirkung von ...

Die vorliegende Arbeit ist eine Zusammenfassung der Ergebnisse der Untersuchungen über die Wirkung von ...

Die vorliegende Arbeit ist eine Zusammenfassung der Ergebnisse der Untersuchungen über die Wirkung von ...

Die vorliegende Arbeit ist eine Zusammenfassung der Ergebnisse der Untersuchungen über die Wirkung von ...

6. Zusammenfassung

Die vorliegende Arbeit ist eine Zusammenfassung der Ergebnisse der Untersuchungen über die Wirkung von ...

7. Zusammenfassung

8. Zusammenfassung

9. Zusammenfassung

Die vorliegende Arbeit ist eine Zusammenfassung der Ergebnisse der Untersuchungen über die Wirkung von ...

10. Zusammenfassung

INHALTSVERZEICHNIS

1.	<u>Theoretische Überlegungen</u>	1
	Beziehungen zwischen Wellengeschwindigkeit, Wanddicken-Radius-Verhältnis und Wandelastizitätsmodul einer Arterie	
2.	<u>Ergebnisse früherer Untersuchungen</u>	7
	Querschnitt- und Längsschnittuntersuchungen der PWG, "reine"-PWG-Alterskurven	
3.	<u>Versuchspersonen und Methode</u>	9
4.	<u>Statistik</u>	15
5.	<u>Ergebnisse</u>	17
	Anzahl, Alter, Durchschnittsalter und Mitteldruckschwankungen der VP	
	Abhängigkeit von Δc_p von der Dauer des Untersuchungsintervalles	
	Δc_p bei konkordant-diskordantem und bei rein konkordantem Verhalten	
	Abhängigkeit von Δc_p von der Richtung der Druckänderung	
6.	<u>Diskussion</u>	21
	PWG bei Normotonus-Hypertonus, Arteriosklerose, klinischer Ausblick	
7.	<u>Zusammenfassung</u>	26
8.	<u>Tabellen</u>	28
9.	<u>Listen der gemessenen und berechneten Einzelwerte</u>	32
10.	<u>Literaturverzeichnis</u>	38

1. THEORETISCHE ÜBERLEGUNGEN

Seit langem schon ist bekannt, daß die Pulswellengeschwindigkeit (PWG) bei *A n s t i e g* des Blutdrucks zunimmt. Schon WEBER (1850) hat Versuche angestellt, in denen er eine Beziehung zwischen der Wellengeschwindigkeit in Schläuchen und Arterien und der Elastizität ihrer Wände herstellte.

Diese Arbeiten führten zu der Theorie der Windkesselfunktion der Aorta, nach der die Dehnbarkeit der Aorta in erster Linie vom *E l a s t i z i t ä t s m o d u l* ihrer Wand bestimmt wird.

O. FRANK (1906) hat den Elastizitätsmodul als

$$E = \frac{dK}{q} \cdot \frac{l}{dl}$$

definiert. Die dazugehörige POISSONSche Querkontraktionszahl ist

$$\mu = \frac{dh}{h} \cdot \frac{l}{dl} .$$

(K = dehnende Kraft, q = Querschnitt, l = Länge des gedehnten Körpers, h = Dicke des Körpers)(7,8;23)

Auch andere Autoren haben sich bemüht, die Ergebnisse ihrer Untersuchungen in mathematischen Formeln auszudrücken (z.B. MOENS, 14) doch alle diese Formeln mußten eine Näherung bleiben, da sie zwar an ausgeschnittenen Arterien, Gefäßstreifen oder an Schläuchen experimentell nachgewiesen werden konnten, für die in situ - Überprüfung aber Größen enthielten, die nicht oder nur schwer meßbar waren; so die Wanddicke, den Gefäßdurchmesser oder die POISSONSche Konstante.

1920 hat nun O. FRANK eine Beziehung zwischen PWG und Volumenelelastizitätsmodul zeigen können. Durch Einführung des *V o l u m e n e l a s t i z i t ä t s m o d u l* K in dem

der Wandelastizitätsmodul sozusagen implizite enthalten ist (23,26), hat er eine Verbindung zwischen solchen Faktoren hergestellt, die auch in situ am Lebenden meßbar sind.

Er geht dabei von der aus der Physik bekannten Formel für die Fortpflanzungsgeschwindigkeit von Wellen

$$c = \sqrt{\frac{V}{dV} \cdot \frac{dp}{\rho}} \quad (I)$$

aus.

($\frac{dV}{V}$ = relative Volumenänderung durch eine Druckänderung dp
 ρ = Dichte des Mediums, in unserem Falle Blut = 1,06).

Der Volumenelastizitätsmodul K ist nun

$$K = \frac{dp}{dV} \cdot V \quad (II)$$

wobei man nach $V = Q \cdot l$ (Q = Querschnitt, l = Länge) die Gleichung, wenn l konstant ist, auch auf den Querschnitt abstellen kann:

$$K = \frac{Q}{dQ} \cdot dp \quad (III)$$

Dies entspricht annähernd auch der Wirklichkeit, da die Arterien längsfixiert sind.

In Gleichung I eingesetzt ergibt sich:

$$c = \sqrt{\frac{Q}{dQ} \cdot \frac{dp}{\rho}} \quad (IV)$$

Da aber der Ausdruck $\frac{Q}{dQ} \cdot dp = K$ (vergl. III), folgt

$$c = \sqrt{\frac{K}{\rho}} \quad (V) \quad \text{oder}$$

$$K = \rho \cdot c^2 \quad (VI)$$

Die Beziehung zwischen dem Volumenelastizitätsmodul K und dem eigentlichen Wandelastizitätsmodul (E_t) bei Dehnung in Umfangs- (Tangential-) Richtung ist gegeben durch:

$$K = \frac{E_t \cdot h}{2r} \quad (\text{VII})$$

(h = Wanddicke, r = Radius des Gefäßes).

Setzt man in Gleichung IV K aus Gleichung VI ein, ergibt sich die bekannte MOENS'sche Formel

$$c = \sqrt{\frac{E_t \cdot h}{2r \cdot \vartheta}} \quad (\text{VIII}).$$

Diese Formel stellt eine beträchtliche Vereinfachung dar. Sie soll nur zeigen, daß die Wellengeschwindigkeit mit dem Elastizitätsmodul einerseits und dem Wanddicken - Radius - Verhältnis h/r andererseits in enger Beziehung steht.

Da weder h noch r in vivo bekannt sind, kann man mit der PWG nur indirekte Aussagen über den Elastizitätsmodul einer Artiere machen.

(Die genaue Ableitung der Formeln findet sich bei (23))

Schon frühere Autoren (Literatur bei 17,22,23,26) haben zahlreiche PWG-Messungen an verschiedenen Gefäßen angestellt und es hat sich ergeben, daß

- a) die PWG mit dem Alter steigt,
- b) die PWG mit dem Blutdruck steigt,
- c) die PWG je nach Gefäßtyp
(musculär-elastisch) verschieden ist.

Zu a):

Infolge physiologischer und pathophysiologischer Altersveränderungen an den Arterienwänden wird der Wandelastizitäts-

modul ebenfalls beeinflußt.

Solche Veränderungen treten bei Einbau von Bindegewebe (13, 10) und gleichzeitig im Abbau der Muskularis auf (5). In Arterien des elastischen Typs (Aorta) nimmt nämlich der Wandelastizitätsmodul (E_t) und das Wanddicken-Radius-Verhältnis (h/r) mit dem Alter stets zu (1, 7), während in muskulären Arterien E_t wegen der stärkeren Wanddickenzunahme (10) und der daraus folgenden Abnahme der Wandspannung sogar abnehmen kann (13). Daß die PWG auch in muskulären Arterien mit dem Alter ansteigt, hängt also in erster Linie mit der Vergrößerung des Wanddicken-Radius-Verhältnisses zusammen. Eine Aktivierung der Muscularis führt ebenfalls zu einer Abnahme von E_t (6, 15). Dieses Phänomen war mit Eindeutigkeit erst im letzten Jahrzehnt an Arterien des muskulären Typs nachzuweisen. Bei der elastischen Aorta, wo die Muskularis einen wesentlich geringeren Teil der Wand ausmacht, konnte das Eingreifen der Muskularis durch Versuche mit Sympatol und Adrenalin signifikant nachgewiesen werden (26, S. 421).

Zu b):

Da mit dem Blutdruck die Spannung in der Arterienwand zunimmt, und der Wandelastizitätsmodul steiler anwächst als r (Gleichung VIII), steigt auch die PWG.

WELZER und BÖGER konnten zeigen, daß sich die PWG in der Aorta, also der Arterie vom elastischen Typ bei Druckänderungen wesentlich stärker verändert, als in Gefäßen mit muskulärem Aufbau, deren dickere Muscularisschicht Druckänderungen besser aufzufangen in der Lage ist.

Zu c):

Es konnte gezeigt werden, daß die PWG je nach Arterientyp (muskulär oder elastisch) verschieden war, der Elastizitätsmodul also von der Morphologie der Gefäßwand abhängt. Die

Schwankungsbreite ist groß, nicht zuletzt wegen der vorkommenden fließenden Übergänge bei der Typisierung. Die niedrigsten Werte fand man jedoch in der Aorta, die höchsten in Arterien des muskulären Typs.

Noch einmal zusammengefaßt bedeutet dies:

Mit zunehmender Dehnung der Gefäßwand nimmt der Elastizitätsmodul zu, so daß mit zunehmendem Blutdruck im allgemeinen die PWG steigt. Die Gefäßmuscularis kann hier jedoch regulieren und eingreifen, wobei eine Kontraktion der Muskularis eine Abnahme des Querschnitts bei gleichbleibendem Druck bedeutet. Ob der kontrahierte Muskel einen geringeren Elastizitätsmodul, also eine größere Dehnbarkeit besitzt, als der nicht kontrahierte (BROEMSER), ist heute noch nicht sicher erwiesen. (Hierauf wird noch in einem späteren Abschnitt Bezug genommen).

Grundsätzlich wird die PWG aus $c = \frac{\Delta l}{\Delta t}$ berechnet. Man bestimmt dafür die Pulslaufzeit Δt entlang einer Arterienstrecke Δl . Da nun die PWG im Verlauf dieser Strecke nicht gleich bleibt, sondern zur Peripherie hin zunimmt und auch regionalen Schwankungen unterliegt, ist die aus dem Quotienten $\frac{\Delta l}{\Delta t}$ berechnete PWG als mittlere Geschwindigkeit der Pulswelle aufzufassen. Mit der Ausmessung der Fußpunkte oder des ersten Anstiegsfünftels einer Pulskurve wird immer die Frontgeschwindigkeit der Welle erfaßt (Literatur dazu bei 23).

WELZER und BÖGER haben an jugendlichen Aorten Pulswellengeschwindigkeiten von ca. 4 - 5 m/sec. gemessen, an Arm- und Beingefäßen fanden sie solche von 7 - 8 m/sec. und mehr. Diese Werte stimmen im allgemeinen mit den Angaben anderer Autoren überein (18, 19, 22, 24, 29). Die höheren Werte der peripheren Arterien lassen sich vor allem auf das größere Wanddicken - Radius - Verhältnis dieser zurückführen ()

Da diese Arbeit sich mit Untersuchungen a o r t a l e r
P u l s w e l l e n g e s c h w i n d i g k e i t e n be-
faßt, soll auf Messungen peripherer Arterien hier nicht
eingegangen werden.

Zum besseren Verständnis des Folgenden seien im nächsten
Abschnitt kurz Ergebnisse früherer Untersuchungen dargelegt.

2. ERGEBNISSE FRÜHERER UNTERSUCHUNGEN

1965 hat SCHIMMLER (17) anhand einer Statistik über 2500 Versuchspersonen erstmals sogenannte "reine" PWG - A l t e r s - k u r v e n ermittelt. Da, wie vorher dargelegt, die PWG vom Alter und vom Blutdruck abhängt, hat er in dieser Querschnittsuntersuchung seine Versuchspersonen in Hypotoniker, Normotoniker und Hypertoniker unterteilt, und die PWG-Alterskurve der jeweils untersuchten M i t t e l d r u c k h ö h e auf Blutdruckwerte bezogen, die von Dezenium zu Dezenium möglichst gleich waren.

Dabei konnte er zeigen, daß die PWG erstens auf allen drei Druckstufen mit dem Alter zunimmt, zum zweiten daß die Anstiegssteilheit der PWG-Alterskurven mit zunehmendem arteriellen Mitteldruck wächst.

Aus dieser größeren Anstiegssteilheit der Hypertonikerkurve im Vergleich zu Anstiegssteilheit der Normotonikerkurve schloß er, daß das Aorta-Iliaca-Rohr bei erhöhtem Blutdruck etwas schneller altert. Bei niederem Blutdruck ist der Altersgang langsamer als im Normaldruckbereich.

Die Angaben über die Höhe des Anstiegs der Wellengeschwindigkeit pro 10 mm Hg Drucksteigerung (Differenzenquotient) liegen im allgemeinen zwischen 0,30 m/sec. und 0,80 m/sec. Aus Q u e r s c h n i t t s u n t e r s u c h u n g e n , bei denen die PWG-Mittelwert-Differenzen zwischen Normo- und Hypertonikern jeweils gleicher Altersgruppen verglichen wurden, ergab sich vor dem 50. Lebensjahr ein Zuwachs der PWG um 0,30 m/sec. pro 10 mm Hg Mitteldruckdifferenz, nach dem 50. Lebensjahr ein Zuwachs der PWG von 0,50 m/sec. (21,22)

Weiter hat SCHIMMLER Versuchspersonen, die an temporärem oder chronischem Hochdruck erkrankt waren, über Jahre beobachten können, und dabei deren Blutdruckschwankungen zusammen mit Änderungen der PWG verfolgt. Aus diesen Werten

ließ sich eine Zunahme der Aortalen PWG pro 10 mm Hg von 0,60 m/sec. errechnen.(21).

Das Patientengut des Institutes für die Prophylaxe der Kreislaufkrankheiten bei der Universität München erlaubte es nun, aufbauend auf diesen Ergebnissen, zum Vergleich eine L o n g i t u d i n a l e Verlaufsstudie über die Änderungen von aortalen Pulswellengeschwindigkeiten im Zusammenhang mit s p o n t a n e n Mitteldruckschwankungen bei männlichen N o r m o t o n i k e r n zu erstellen.

3. VERSUCHSPERSONEN UND METHODE

Nach der vorher genannten Definition berechnet man die Pulswellengeschwindigkeit

$$P W G = \frac{\Delta l}{\Delta t} ,$$

wobei Δl die Länge der Meßstrecke und Δt das Zeitintervall sei.

An mehreren hundert klinisch gesunden Männern wurde nun gemäß dieser Definition die PWG bestimmt.

Da es sich um eine l o n g i t u d i n a l e , d.h. um eine aus individuellen Langzeitverläufen aufgebaute Studie handeln sollte, wurden die Messungen der PWG mehrmals in teils kleineren (innerhalb eines Jahres), teils größeren Zeitabständen (1 - 10 Jahre) vorgenommen.

Gleichzeitig wurde der Blutdruck nach KOROTKOW mit der Manschette gemessen, wobei als Wert für den diastolischen Druck der benützt wurde, bei dem das Pulsgeräusch leiser wurde.

Zur Berechnung des Mitteldruckes p wurden die Werte des systolischen und diastolischen Drucks addiert und durch 2 dividiert. (Mathematisches Mittel)

Um die Untersuchung auf N o r m o t o n i k e r zu beschränken, wurden aus dem mehrmals (mindestens zweimal) untersuchten Kollektiv 183 Versuchspersonen herausgezogen, bei denen die Blutdruckwerte innerhalb der von der WHO gesetzten Norm blieben, aber innerhalb dieses Normbereiches s p o n t a n e Schwankungen zeigten.

Es überstieg also keiner mit dem systolischen Wert einen Druck von 145 mm Hg und mit dem diastolischen Wert einen Druck von 95 mm Hg und alle hatten bei mindestens 2 Messungen

der PWG verschiedene (dazugehörende) Blutdruckwerte. Ferner wurden durch Kenntnis der Krankengeschichten der einzelnen Probanden ein eventueller labiler Hypertonus, der sich bei einer Messung zufällig in einer Phase normalen Blutdrucks bewegte, ausgeschlossen.

In den Listen (für die gemessenen und berechneten Werte der einzelnen Versuchspersonen) werden die Änderungen des Blutdrucks als Änderungen des Mitteldruckes p_m angegeben.

$$p_m = \frac{p_{\text{syst.}} + p_{\text{diast.}}}{2} \text{ mm Hg.}$$

Die Beziehung der PWG auf den Mitteldruck erfolgt nach den bei WEZLER und BÖGER (26,S 418) gegebenen Überlegungen.

Die Laufzeit Δt der Pulswelle im Aorta-Iliaca-Rohr wurde nach der klassischen Methode ermittelt (8). Dazu wurden an der linken Körperseite der Carotis- und der Femoralis-puls (unterhalb des Leistenbandes) über BOUCKE und BRECHT'sche Kondensatorgeber gleichzeitig registriert (2), und mittels eines HEILIGE-Fotoschreibers auf einem Papierfilm mit Millimetereinteilung aufgezeichnet.

Der Papiervorschub betrug dabei 100 mm/sec.

Aus den so erhaltenen Kurven für den Carotis- und den entsprechend der Laufzeit einer Pulswelle verschobenen Femoralis-puls, wurden die Zeitintervalle Δt gemessen.

Pro Registrierung wurden 3 - 5 Kurvenpaare ausgewertet, in dem man die Entfernung entweder der Fußpunkte oder der ersten Anstiegsfünftel der einander entsprechenden Carotis- und Femoralis-Pulskurven als korrespondierende Punkte auswählte (vergl. Abb. 1).

Aus dem Papiervorschub von 100 mm/sec. und der so gemessenen Distanz errechnet sich die Laufzeit der Pulswelle. Nach KAPAL, MARTINI und WETTERER bestehen zwischen den Ergebnissen dieser beiden Methoden keine nennenswerten Unterschiede (11)

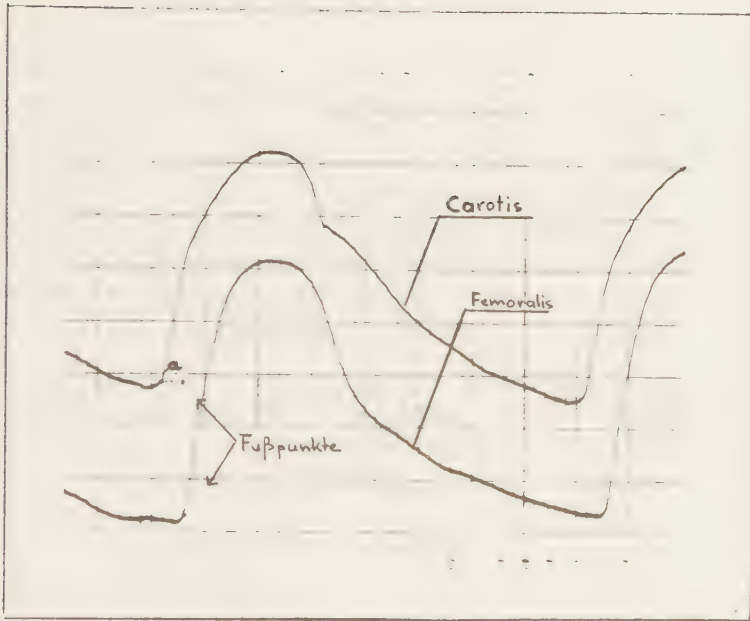


Abb. 1: Carotis- und Femoralispulskurve

$$\frac{100 \text{ mm/sec.}}{a} = t \text{ (sec.)}$$

Die Meßstrecke Δl wurde an der Körperoberfläche in folgender Weise annähernd gemessen:

Zur Entfernung Jugularincisur - Nabel (a) wurde die Strecke Nabel - Femoralispuls (b) addiert und davon die Strecke Carotispuls - Jugularincisur (c) subtrahiert (vergl. Abb. 2). Die so errechnete Länge der Meßstrecke Δl , soll nach Überprüfungen an Leichen der wirklichen Länge des Aorta-Iliaca-Rohres entsprechen. (26)

Eine etwaige Schlängelung der Aorta, z.B. beim "alten Hypertoniker" wäre allerdings eine Fehlerquelle, die aber auszuschließen ist, da es sich beim vorliegenden Untersuchungsgut um Normotoniker handelt, ebenso der später zu besprechende Differenzenquotient Δc_p , der in dieser Arbeit zur Debatte steht, da für jedes Individuum der Meßfehler bei mehreren Messungen hintereinander annähernd gleich bleibt.

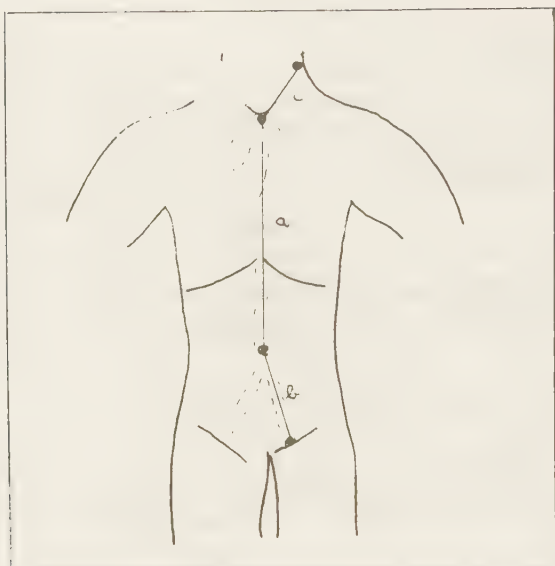


Abb. 2: Verlauf der Meßstrecke l
(a + b) - c Länge der Meßstrecke

Bei den verschiedenen Messungen waren jeweils der Blutdruck und die PWG mit den vorher beschriebenen Methoden gemessen und in einer Kartei festgehalten worden.

Um die beiden, zu verschiedenen Zeitpunkten aufgenommenen PWG-Werte miteinander vergleichen zu können, muß, da die PWG mit zunehmendem Alter ansteigt, der später aufgenommene PWG-Wert dem Altersgang entsprechend korrigiert werden. Eine solche Korrektur führten wir stets dann durch, wenn die zweite Registrierung der Pulskurven nach mehr als 12 Monaten erfolgte.

In den Listen I und II ist dieser Wert als c_2 - korrigiert (c_2 korr.) aufgenommen.

Der Altersgang von c wurde gemäß den statistischen Berechnungen einer früheren Studie von SCHIMMLER (20) berücksichtigt. Nachdieser betrug er bei Männern bis zum 55. Lebensjahr im

Durchschnitt 7 cm/sec. pro Jahr, nach dem 55. Lebensjahr
9 cm/sec. pro Jahr (siehe später).

Diese Beträge wurden von c_2 der 2. Messung abgezogen. Somit konnte eine "reine" vom Alterungsprozeß unabhängige $c - p$ - Beziehung für jede Versuchsperson aufgestellt werden. Die Probanden, bei denen die 2. Registrierung innerhalb eines Jahres erfolgte, sind in den Listen daran erkenntlich, daß sie nur eine Altersangabe aufweisen.

Der vorher schon erwähnte und von WEZLER (26) eingeführte Differenzenquotient Δc_p ist ein Maßstab für die Änderung der PWG pro 10 mm Hg Druckänderung und errechnet sich aus der Differenz zweier gemessener PWG-Werte und der Differenz.

$$\Delta c_p = \frac{(c_1 - c_2)}{p_1 - p_2} \cdot 10 = \frac{\Delta c \cdot 10}{\Delta p} \quad (\text{m/sec.})$$

Wenn bei Zunahme des Mitteldruckes p die PWG abnahm, oder umgekehrt sich also c zu p diskordant verhielt (Einwirken der Muscularis, vergl. später) ging Δc_p mit negativem Vorzeichen in die Listen und in die statistischen Berechnungen ein.

An 3 Beispielen seien die Größen und Werte noch einmal erläutert. Im Fall 1 war der Proband bei der ersten Messung der PWG 37 Jahre alt. Er hatte damals einen Blutdruck von 130/80 mm Hg, der in Liste I als Mitteldruck von 105,0 mm Hg (p_1) erscheint. Dabei wurde eine PWG von 5,90 m/sec. gemessen (c_1). Bei der 2. Messung 3 Jahre später fand sich bei einem Mitteldruck von (p_2) 82,5 mm Hg (RR 100/65 mm Hg) eine PWG von 5,40 m/sec. In diesen 3 Jahren ist aber seine PWG altersbedingt um ca. 7 cm/sec. pro Jahr, also in 3 Jahren um 21 cm/sec. gestiegen. Dieser Betrag von c_2 subtrahiert ergibt eine korrigierte PWG von 5,19 m/sec. (c_2 korr.).

Einer Druckabnahme von 22,5 mm Hg (Δp) entspricht bei dieser Versuchsperson also eine Rückgang der PWG von 0,71 m/sec. (Δc). Die Abnahme der PWG pro 10 mm Hg Druckänderung (Differenzenquotient Δc_p) beträgt dann 0,31 m/sec.

Im Fall 131 (Liste II) war die Messung der PWG innerhalb weniger Monate wiederholt worden (nur eine Altersangabe). Dabei war der Mitteldruck von 107,5 mm Hg (p_1) auf 120,0 mm Hg gestiegen ($\Delta p = 12,5$ mm Hg). Wegen des kurzen Zeitintervalles zwischen beiden Messungen braucht aber die PWG, die von 7,32 m/sec. (c_1) auf 7,50 m/sec. (c_2) zugenommen hatte, nicht korrigiert werden.

An Fall 20 (Liste I) sei noch kurz ein diskordantes c - p - Verhalten erläutert. Obwohl bei diesem Probanden der Mitteldruck von 115 mm Hg auf 105 mm Hg gefallen ist, hat sich die PWG von 6,56 m/sec. auf 7,50 m/sec. bzw. alterskorrigiert auf 7,43 m/sec., also um 0,87 m/sec. erhöht.

Dieses entgegengesetzte Verhalten von c gegenüber p erscheint als Δc_p mit negativem Vorzeichen und geht so in die Statistik ein.

4. STATISTIK

Die statistische Auswertung des Untersuchungsgutes erfolgte nach folgenden Formeln:

Der arithmetische Mittelwert $\bar{x}$ beträgt:

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n}$$

Die Standardabweichung σ_x vom Mittelwert errechnet sich aus:

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{\sum d^2}{n - 1}}$$

Dabei bedeuten: x_1, x_2 = Einzelwert
 d = Differenz des Einzelwerts zum Mittelwert
 n = Anzahl der Versuchspersonen

Die Prüfung der Mittelwertsunterschiede auf Signifikanz erfolgte nach dem t - Test, dem folgende Formel zugrunde liegt:

$$t = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{\sqrt{\frac{6 x_1^2}{n_2} + \frac{6 x_2^2}{n_1}}}$$

Hierin bedeuten: $\bar{x}_1, \bar{x}_2$ = auf Signifikanz zu vergleichende Werte

$6 x_1^2$ = Standardabweichung von $\bar{x}_1$

$6 x_2^2$ = Standardabweichung von $\bar{x}_2$

n_1 , und n_2 = Anzahl der untersuchten Fälle

Nach der t - Verteilungstabelle (REICH) wird eine Zufallswahrscheinlichkeit von p zwischen 0,05 und 0,01 als wahrscheinlich signifikant, zwischen 0,01 und 0,001 als signifikant und p kleiner als 0,001 als hoch signifikant bezeichnet.(16)

5. ERGEBNISSE

Die Ergebnisse aller 183 Versuchspersonen (VP) sind mit allen Einzelwerten in den Listen niedergelegt, wobei Liste I Männer bis zum 55. Lebensjahr, Liste II solche über 55 Jahre erfaßt. Der Jüngste war zu Beginn der Studie 16, der Älteste 74 Jahre alt.

Das Durchschnittsalter aller Probanden ($n = 183$) war 51 Jahre. Unterteilt in die genannten zwei Altersgruppen betrug es bei denen bis 55 Jahre ($n = 116$) 44 Jahre, bei denen über 55 Jahre ($n = 67$) 63 Jahre.

Beim Kollektiv, das auf die Mitteldruckänderung mit einem konkordanten PWG-Verhalten reagierte ($n = 142$) war das Durchschnittsalter fast gleich, nämlich 51 Jahre für alle VP, 45 Jahre für diejenigen bis 55 ($n = 88$) 63 Jahre für die, die über 55 Jahre alt waren ($n = 54$).

Die s p o n t a n e n Mitteldruckschwankungen bewegten sich zwischen 5,0 und 27,5 mm Hg (Δp in den Listen I und II).

Bei 81 Versuchspersonen war das Intervall zwischen 2 Messungen 1 Jahr und weniger, bei 102 Versuchspersonen dauerte es länger als 1 Jahr, so daß c_p für die zu veranschlagende PWG korrigiert werden mußte. Die Länge des Untersuchungsintervalles hat sich aber n i c h t s i g n i f i k a n t auf die Größe von Δc_p ausgewirkt (s. Tab. I, 1). Das gleiche gilt für das "nur konkordante" Kollektiv, bei dem bei 64 VP das Untersuchungsintervall kürzer als 1 Jahr und bei 78 VP länger als ein Jahr dauerte (Tab. II, 1).

Die kleineren Δc_p - Werte bei den längeren Untersuchungsintervallen sind wohl darauf zurückzuführen, daß der Alterskorrekturfaktor von 7 cm/sec. bzw. von 9 cm/sec. pro Jahr etwas zu groß gewählt war. Diese Werte entstammen einer longitudinalen Versuchsreihe (10), bei der nur solche Fälle mit in die Statistik aufgenommen waren, bei denen c mit dem

Alter a n g e s t i e g e n war. Diskordante Fälle, bei denen die PWG trotz Alterszunahme unter den Wert zu Beginn der Studie gesunken war, waren damals ausgeklammert worden. Gerade aber diese zum Alter diskordant verlaufenden c - Werte hätten den Mittelwert der Alterszunahme von c gedrückt, so daß c_2 um einen geringen Betrag pro Jahr hätte gekürzt werden müssen. Denn diese kleineren Korrekturfaktoren würden, angewandt in dieser Studie, ein größeres Δc und damit auch größeres Δc_p bewirken.

In Tabelle I sind alle 183 VP zusammengefaßt; c verhält sich k o n k o r d a n t zum Mitteldruck, wenn es bei Anstieg desselben zunimmt, oder bei Absinken des Druckes abnimmt, d i s k o r d a n t, wenn es sich umgekehrt zur Mitteldruckänderung verhält.

Bei 41 VP (22 %) waren diskordante Verhaltensweisen von c zu p zu finden. Δc_p betrug im Durchschnitt ($n = 183$) $0,3993 \approx 0,40$ m/sec. (Tab. I, 2).

Die Aufschlüsselung nach Alter ergab bei 116 VP bis 55 Jahre ein Δc_p von ca. 0,30 m/sec., bei 67 VP über 55 Jahre ein Δc_p von ca. 0,55 m/sec. (Tab. I, 3). Δc_p ist also vor dem 55. Lebensjahr deutlich geringer als nachher, die Altersdifferenz ist statistisch signifikant ($p = 0,05$).

Dieselbe Erhebung aus den Fällen mit nur konkordantem Verhalten von c zu p (Tab. II) ergibt einen höheren Mittelwert von Δc_p (0,6956 0,70 m/sec.). (Diese Werte stimmen ungefähr mit den von SCHIMMLER (21) bei Hypertonikern gefundenen Werten (0,60 m/sec.) überein, bei denen ja nur VP mit konkordantem $c - p$ - Verhalten ausgewählt worden waren).

Die Unterscheidung von Δc_p nach den beiden Altersgruppen fällt auch hier deutlich aus (Tab. II, 3), ist aber nicht mehr (wie in Tab. I) signifikant.

Zwischen den Δc_p - Mittelwerten des "konkordant-diskordanten" Kollektivs (Tab. I) einerseits und dem nur konkordanten Kollektiv (Tab. II) andererseits besteht eine signifikante Differenz ($p = 0,001$), (s. Tab. III).

Tab. I, 4 und Tab. II, 4 sollen zeigen, wie sich die Richtung einer Druckänderung auf die Größe von Δc_p auswirkt (s. Tab. I). Bei 81 VP hat der Mitteldruck zwischen zwei Messungen zugenommen, bei 102 VP abgenommen.

Die Größe der Änderung von Δc_p war dabei von der Richtung der Druckänderung in der Tat abhängig und zwar war Δc_p bei Zunahme des Mitteldrucks kleiner als bei Abnahme des Drucks. Mit ca. 0,25 m/sec. und 0,51 m/sec. lagen diese Werte einmal über, das andere Mal unter dem Mittelwert von allen 183 VP (Tab. I, 2). Der Unterschied ist statistisch signifikant ($p = 0,05$).

In Tab. II, 4 wurde an gleicher Position dieses Verhalten von c in Abhängigkeit von der Richtung der Druckänderung auch bei der "nur konkordanten" Gruppe untersucht, wobei zusätzlich noch zwischen den Altersgruppen bis und über 55 Jahre aufgeschlüsselt wurde. Bei 60 VP mit Zunahme von p zwischen zwei Messungen lag Δc_p mit 0,62 m/sec. ebenfalls unter dem Durchschnittswert aller 142 VP (Tab. II, 2). Mit einem Δc_p von 0,52 m/sec. bis 55 Jahre und 0,76 m/sec. über 55 Jahre waren die Δc_p -Werte im höheren Alter wiederum deutlich größer (Tab. II, 4a).

82 VP zeigten eine Abnahme von p zwischen zwei Messungen, wobei sie mit einem Δc_p von ca. 0,75 m/sec. wieder über dem Durchschnittswert aller 142 VP lagen (Tab. II, 2).

Auch hier entsprach die Aufschlüsselung nach dem Alter den schon vorher erbrachten Ergebnissen (Tab. II, 4b).

Der Unterschied zwischen Δc_p -Werten bei Zunahme von p und denen bei Abnahme von p zwischen den beiden Registrierungen sind bei den Probanden mit nur konkordantem c-p-Verhalten allerdings nicht mehr signifikant (Auch diese Abhängigkeit war von SCHIMMLER (21) bei seiner Untersuchungsreihe an Hypertonikern schon beobachtet worden).

Die Frage, inwieweit die Richtung der Druckänderung die PWG bei unseren Probanden beeinflußt hat, wurde in Tab. IV nochmals aufgegriffen. Dazu wurde der Mittelwert von c_1 aller 81 Fälle, bei denen p zugenommen und aller 102 Fälle, bei denen p abgenommen hatte, berechnet, desgleichen in analoger Weise der Mittelwert von c_2 korr. der beiden Gruppen. Die Mittelwerte der Drucke p_1 und p_2 wurden für beide Gruppen ebenfalls getrennt ermittelt.

Für die Gruppe, bei der p zugenommen hatte (was einer Dehnung der Gefäßwand entspricht) errechnete sich ein c_1 von 7,47 m/sec. und ein durchschnittliches c_2 korr. von 7,84 m/sec. Dieser Zunahme der PWG entsprach eine durchschnittliche Druckzunahme von $p_1 = 101,09$ mm Hg auf $p_2 = 112,63$ mm Hg.

Für die andere Gruppe mit Abnahme von p zwischen den beiden Registrierungen (was einer Entdehnung der Gefäßwand entspricht) war analog ein c_1 von 7,79 m/sec., ein c_2 korr. 7,20 m/sec. und entsprechend dazu ein p_1 von 111,96 mm Hg und p_2 von 100,14 mm Hg gefunden worden.

Das Durchschnittsalter beider Kollektive war bei ca. 50 Jahren annähernd gleich (vergl. Tab. IV).

Um die Aussagekraft dieser Zahlen zu verdeutlichen, wurden die Mittelwerte von c_1 und c_2 auf gleichen Mitteldruck und außerdem auf ein gleiches Durchschnittsalter von genau 50 Jahren korrigiert. Einer Zunahme von p von 100 auf 110 mm Hg entspräche dann eine PWG-Zunahme von 7,40 auf 7,65 m/sec. (also um 0,25 m/sec.) einer Abnahme von p von 110 auf 100 mm Hg eine PWG-Verminderung von 7,90 auf 7,40 m/sec. (um 0,50 m/sec.).

6. DISKUSSION

Wie schon in Abschnitt I (theoretische Überlegungen) dargelegt, basierten die früher veröffentlichten Berechnungen der Druckdifferenz Δp und der dazugehörigen PWG-Änderung auf Untersuchungen an Einzelindividuen oder auf Querschnittsuntersuchungen. Bei den Einzelindividuen waren die Druckänderungen entweder durch Kälte- oder Hitzereize, oder durch Pharmaka (Adrenalin, Sympatol) verursacht worden (21, 22). Bei den Querschnittsuntersuchungen waren die "zufälligen" einmaligen Meßwerte von Einzelpersonen, die nach Alter oder Blutdruck unterteilt waren, statistisch erfaßt und berechnet wurden (17, 22).

Die Blutdruckschwankungen unserer Probanden waren jedoch nicht künstlich beeinflusst, sondern zwischen den verschiedenen Messungen jeder einzelnen Versuchsperson spontan geändert, dies allerdings innerhalb der Grenzen des Normbereichs. Eine Beeinflussung des Carotissinus durch Anlegen der Carotispulsmanschette wäre am Blutdruck- und Frequenzverhalten erkennbar gewesen, kann also weitgehend ausgeschlossen werden.

Aus den Ergebnissen früherer Untersuchungen war schon zu erkennen, in welchem Bereich sich die Δc_p -Werte von Normotonikern bewegen dürften. Die Ergebnisse dieser Studie bestätigen deshalb hierin noch einmal frühere Arbeiten. So befinden sich die am Kollektiv der Versuchspersonen dieser Arbeit errechneten durchschnittlichen 0,70 m/sec. für Δc_p bei Fällen mit nur konkordanter c-p-Beziehung (Tab. II, 2) in guter Übereinstimmung mit den 0,60 m/sec., die in einer vorangehenden longitudinalen Verlaufsstudie an Hypertonikern (21) gefunden wurden. Auch bei dieser waren nur konkordante c-p-Beziehungen erfaßt worden. Die Übereinstimmung erstreckt sich auch auf die Altersabhängigkeit von Δc_p und läßt den Schluß zu, daß sich Δc_p bei Normotonikern und Hypertonikern annähernd gleich verhalten dürfte.

Aber auch der deutliche Größenunterschied zum $\dot{c}_p$ -Wert von 0,40 m/sec. aus Querschnittsuntersuchungen (19, 22) läßt sich erklären, wenn man die Werte von Tab. I, 2 und Tab. II, 2 vergleicht. In der L ä n g s s c h n i t t - u n t e r s u c h u n g dieser Arbeit haben ca. 1/5 (22 %) aller Probanden ein diskordantes c-p-Verhalten gezeigt. Analog hierzu wird wohl auch bei einer Querschnittsuntersuchung ein gleicher Prozentsatz mit diskordantem c-p-Verhalten anzunehmen sein, der aber nicht erkannt wird, da jede Versuchsperson nur einmal untersucht worden ist.

Die 0,39 $\approx$ 0,40 m/sec. (Tab. I, 2) unserer longitudinalen Studie entsprechen genau dem Ergebnis früherer transversaler Untersuchungen.

An dieser Stelle muß man auf die diskordante c-p-Beziehung eingegangen werden. Dieses Phänomen, das bei Normo- und Hypertonikern auftritt, ist schon von WEZLER und BÖGER (26) beschrieben worden. Es gilt als sicher, daß dafür eine A k t i v i t ä t s ä n d e r u n g der Gefäßmuskularis verantwortlich ist.

In der Regel steigt c mit p an, weil der Wandelastizitätsmodul (E_t) bei Druckzunahme in Arterien stärker zunimmt als der Gefäßradius (anders als bei Gummi) und c fällt mit p bei Druckabnahme, weil E_t stärker als der Radius r abnimmt. Dieses Verhalten wird aus der MOENS'schen Formel (VII) deutlich.

Infolge einer überschießenden Aktivitätsänderung der Gefäßmuskularis, wodurch E_t verändert wird, verhält sich in 22 % aller Fälle c zu p diskordant. Eine Abnahme von c bei gleichzeitiger Zunahme von p ist nur durch eine Aktivitätssteigerung der Muscularis, eine Zunahme von c bei Abnahme von p durch eine Aktivitätsminderung derselben zu erklären. Dieser Mechanismus bewirkt, daß die PWG trotz Druckzunahme abnehmen kann und vice versa.

Derselbe Mechanismus ist es auch, der bei A r t e r i o - s k l e r o s e für die häufig altersentsprechende, also "normale" PWG verantwortlich ist, da auch in solchen Fällen die aktivierte Muscularis den Elastizitätsverlust der übrigen Gefäßwandstrukturen zu kompensieren vermag.

Dies war aus früheren Untersuchungen an Hypertonikern ersichtlich, bei denen ja ebenfalls die Elastizität der Gefäßwand durch Einbau von weniger dehnbarem Material (Kollagenes BGW) vermindert gewesen sein dürfte, bei denen aber nach Normalisierung des Blutdrucks sich wieder normale PWG-Werte eingestellt hatten (21, 22).

Eine morphologisch verursachte Erhöhung von E_t (Arteriosklerose, Hypertonus) muß also nicht gleichbedeutend sein mit dem Verlust der elastischen Funktion der Gefäßwand, da eine Aktivitätssteigerung der Muscularis diesen Verlust bis zu einem gewissen Grad ausgleichen kann. Auch die bei beiden Krankheiten reduzierte Muscularis dürfte somit eine noch ausreichende Aktivitätsreserve besitzen, um bei Rückkehr zu normalem Blutdruck die elastische Funktion des Aortenrohres noch zu gewährleisten. Für die Klinik bedeutet dies, daß bei einem unter Ruhebedingungen gemessenen "normalem PWG-Wert" nicht unbedingt das Vorliegen einer m o r p h o l o g i s c h e n , wohl aber einer f u n k t i o n e l l e n S k l e r o s e ausgeschlossen werden kann.

Da wir an unseren Fällen mit diskordantem c-p-Verhalten zeigen konnten, daß die Muscularis auch bei Normotonikern regulierend eingreift, und das Wanddicken-Radius-Verhältnis h/r sich auch bei Hypertonus nicht wesentlich verändert (wie neuere Untersuchungen an Ratenaoorten (23) vermuten lassen, ist es nicht verwunderlich, daß die Δc_p -Werte bei Hypertonikern und unseren Normotonikern annähernd gleich sind (0,6 und 0,7 m/sec.)

Der mit 0,6 m/sec. geringere Wert bei Hypertonikern deutet darauf hin, daß Drucksteigerung eine Muscularisaktivierung veranlassen könnte.

Auch die Daten dieser longitudinalen Studie bestätigen, daß Δc_p mit dem Alter zunimmt (Tab. I, 3 und II, 3), was mit der Zunahme des Wanddicken-Radius-Quotienten mit zunehmendem Alter erklärt wird (1), d. h. daß bei gleicher Druckzunahme jüngere Individuen einen geringeren PWG-Anstieg aufweisen als ältere.

Der Alterungsprozeß der Gefäßwand mit seinen morphologisch faßbaren Veränderungen (Kollageneinlagerung) ist sozusagen ein Grundphänomen auf das sich zusätzlich die Einflußmöglichkeiten der Muscularis "aufpflanzen" und so das Spektrum der möglichen Pulswellengeschwindigkeiten noch erweitert. Trotz prozentualer Verringerung des Anteils an glatter Gefäßmuskulatur mit zunehmendem Alter (5) behält diese ihre regulierende Funktion bei.

Die Richtung der spontanen Druckschwankungen hatte auch bei unseren Normotonikern einen Einfluß auf die Größe des Differenzenquotienten. Nach einer Druckzunahme war der Δc_p -Wert durchschnittlich geringer als nach Druckabnahme (Tab. I, 4 und II, 4). Auch WEZLER hat dies bei seinen Versuchen mit Adrenalin und Sympatol schon beobachtet und erklärt, daß bei aufeinanderfolgender Druckzunahme und Druckabnahme die c-p-Beziehung eine Schleife (im oder entgegen den Uhrzeigersinn) durchlaufe. Aber auch bei unserer Langzeitstudie sind mehrere Versuche an gleichen Individuen vorgenommen worden, und zwar in einem zeitlichen Abstand, in dem sich h/r nicht oder nur unwesentlich verändert haben dürfte, so daß hierin kein großer Unterschied zu den WEZLER'schen Versuchsbedingungen besteht. So läßt sich aus dem Zahlenmaterial unseres Untersuchungsgutes ebenfalls eine c-p-Beziehungskurve in Form einer Schleife entgegen dem Uhrzeigersinn darstellen (Tab. V).

In Worten ausgedrückt bedeutet dies, daß die FWG (c) an Orten gleichen Drucks, bei Dehnung niedriger ist als bei Entdehnung. Demgemäß müßte dann (nach der MOENS'schen Formel) auch E_t an Orten gleichen Druckes bei Dehnung niedrigere Werte besitzen als bei Entdehnung, wenn man annimmt, daß h sich bei Dehnung und Entdehnung sich nicht wesentlich ändert.

Hierin deutet sich eine Möglichkeit an, eine Aussage über den nicht meßbaren Wandelastizitätsmodul E_t zu finden, da ja h und r in vivo nicht bekannt sind.

7. ZUSAMMENFASSUNG

Die Untersuchungen für eine l o n g i t u d i n a l e Verlaufsstudie a o r t a l e r Pulswellengeschwindigkeiten (PWG) unter Berücksichtigung s p o n t a n e r Blutdruckschwankungen wurden an 183 n o r m o t o n e n Männern über mehrere Jahre hin vorgenommen. Das Alter der Versuchspersonen (VP) lag zu Beginn der Studie zwischen 17 und 74 Jahren, der Druck durfte diastolisch 95 mm Hg und systolisch 145 mm Hg nicht übersteigen. Die spontanen Mitteldruckschwankungen lagen zwischen 5,0 und 27,5 mm Hg.

Als Maßstab für die Änderung von c mit dem Mitteldruck p wurde der D i f f e r e n z e n q u o t i e n t Δc_p verwendet, welcher eine PWG-Änderung pro 10 mm Hg Druckänderung darstellt.

Um die Alterseinwirkung auf die Gefäßwand zu berücksichtigen, wurden vom c-Wert der später erfolgenden Zweitmessung 7 cm/sec. pro Jahr bei VP unter 55 Jahren und 9 cm/sec. pro Jahr bei solchen über 55 Jahren abgezogen.

Die Länge des Untersuchungsintervalles hat sich statistisch nicht signifikant auf die Größe von Δc_p ausgewirkt, weder beim Kollektiv der VP mit konkordantem c-p-Verhalten, noch bei dem mit konkordant-diskordantem Verhalten.

Der etwas kleinere Δc_p -Wert bei längeren Untersuchungsintervallen wird mit etwas zu niedrig gewählten Korrekturfaktoren erklärt, die aus einer Studie mit nur konkordanter c-p-Beziehung übernommen wurden.

In 78 % der Fälle steigt und fällt c in unserer Langzeitstudie mit p, in 22 % der Fälle bewegt c zu p sich diskordant. Bei Berücksichtigung aller 183 VP beträgt Δc_p im Durchschnitt 0,40 m/sec. Die Altersunterteilung ergibt für VP unter 55 Jahren ein Δc_p von 0,30 m/sec., über

55 Jahren ein Δc_p von 0,55 m/sec. Dieser Altersunterschied von Δc_p ist signifikant. Bei den 142 Fällen mit nur konkordantem c-p-Verhalten beträgt c_p 0,70 m/sec. Dieser Wert entspricht ungefähr dem schon früher bei Hypertonikern gefundenen Wert (0,60 m/sec.), bei denen ebenfalls nur konkordante c-p-Beziehungen untersucht worden waren.

Der Unterschied zwischen den Δc_p -Mittelwerten der konkordant-diskordanten und der konkordanten Gruppe ist statistisch hoch signifikant.

Die Richtung der Blutdruckänderung hat auch bei unseren Normotonikern den Wert von Δc_p beeinflusst. Bei einer Druckabnahme bleibt c höher und Δc_p größer als bei Zunahme des Blutdrucks ($p \leq 0,05$). Einer Druckzunahme von 10 mm Hg entspricht eine durchschnittliche PWG-Zunahme von 0,25 m/sec., während eine Druckabnahme um 10 mm Hg zu einer PWG-Vermindeung um 0,50 m/sec. führt. Die c-p-Beziehung durchläuft demnach eine Schleife entgegen den Uhrzeigersinn.

In der Diskussion wird versucht, das Verhalten von Δc_p in Abhängigkeit von der Muscularisaktivität zu erklären. Die fast identischen Δc_p -Werte bei Normo- und Hypertonikern lassen vermuten, daß die Gefäßmuskularis morphologische Wandveränderungen in gewissem Maße auszugleichen vermag. Für klinische Belange bedeutet dies, daß normale c und Δc_p -Werte bei Arteriosklerose möglich, vielleicht sogar zu erwarten sind, da die Muscularis selbst erhebliche Gefäßwandveränderungen soweit zu kompensieren vermag, daß eine normale elastische Funktion der Arterie erhalten bleibt.

Tabelle I (1 - 4)

Δc_p bei konkordantem und diskordantem Verhalten von c zu Änderungen des Mitteldruckes (n = Anzahl der VP)

Nr.	Bezeichnung	n	$\Delta c_p : \bar{x}$	$\Delta c_p : \delta x$	p
1.	Intervall zur Vergleichsmessung	81	0,4369	0,7926	n.s.
	1 Jahr und weniger				
	> 1 Jahr	102	0,3695	0,8299	
2.	Alle VP	183	0,3993	0,8121	
3.	VP bis 55 J.	116	0,3077	0,8071	= 0,05
	VP über 55 J.	67	0,5530	0,8056	
4.	Zunahme von p zwischen 2 Messungen	81	0,2565	0,8566	= 0,05
	Abnahme von p zwischen 2 Messungen	102	0,5128	0,7657	

Durchschnittsalter: alle VP: n = 183; $\bar{x}$ = 51 Jahre; ϵ_x = 13
 bis 55 J.: n = 116; $\bar{x}$ = 44 Jahre; ϵ_x = 9
 über 55 J.: n = 67; $\bar{x}$ = 63 Jahre; ϵ_x = 6

Tabelle II (1 - 4)

Δc_p bei konkordantem Verhalten von c zur Mitteldruckänderung

Nr.	Bezeichnung	n	$\Delta c_p : \bar{x}$	$\Delta c_p : \bar{e}_x$	p
1.	Intervall zur Vergleichsmessung 1 Jahr und weniger	64	0,7110	0,6343	n.s.
	> 1 Jahr	78	0,6842	0,5558	
2.	Alle VP	142	0,6956	0,5880	
3.	VP bis 55 J.	88	0,6286	0,5201	n.s.
	VP über 55 J.	54	0,8048	0,6826	
4.	Zunahme von p zwischen 2 Messungen	60	0,6248	0,5438	n.s.
	bis 55 J.	34	0,5203	0,4423	
	über 55 J.	26	0,7615	0,6368	
	Abnahme von p zwischen 2 Messungen	82	0,7563	0,6151	n.s.
	bis 55 J.	55	0,6969	0,5568	
	über 55 J.	27	0,8752	0,7143	

Durchschnittsalter: alle VP: n = 142; $\bar{x}$ = 52 Jahre; $\bar{e}_x$ = 13
 bis 55 J.: n = 88; $\bar{x}$ = 45 Jahre; $\bar{e}_x$ = 7
 über 55 J.: n = 54; $\bar{x}$ = 63 Jahre; $\bar{e}_x$ = 6

Tabelle III

Vergleich von Δc_p zwischen konkordant-diskordanten und nur konkordanten Fällen

Bezeichnung	n	$\Delta c_p : \bar{x}$	$\Delta c_p : \bar{s}_x$	p
alle von Tabelle I	183	0,3993	0,8221	0,001
alle von Tabelle II	142	0,6956	0,5880	

Tabelle IV

Richtung der Druck- änderung	Anzahl der Fälle	p_1	p_2	c_1	c_2 korr.	Alter
Zunahme von p (Dehnung)	81	101,09	112,63	7,47	7,84	51,38 J.
Abnahme von p (Ent- dehnung)	102	111,96	100,14	7,79	7,20	48,38 J.

Tabelle V

Abhängigkeit von c von der Richtung der Druckänderung

p	100 mm Hg	110 mm Hg
Zunahme von p ("Dehnung")	7,40 m/sec.	7,65 m/sec.
Abnahme von p ("Entdehnung")	7,40 m/sec.	7,90 m/sec.

Durchschnittsalter für beide Gruppen = 50 Jahre.

Mittelwerte von c auf gleichen Mitteldruck korrigiert.

Zunahme und Abnahme von p auf den im Einzelfall vorausgehenden Meßwert bezogen.

Liste I Männer bis 55 Jahre

Nr.	Alter	P ₁	P ₂	Δ P	c ₁	c ₂	c ₂ korr.	Δ c	Δ c _p
1	37/40	105,0	82,5	22,5	5,90	5,40	5,19	0,71	0,31
6	39/40	102,5	115,0	12,5	5,53	7,83	7,76	2,23	1,78
7	49/50	115,0	105,0	10,0	9,00	8,80	8,73	0,27	0,27
8	53/54	105,0	90,0	15,0	8,62	7,54	7,47	1,15	0,76
10	45/	102,5	110,0	7,5	7,16	7,34	7,33	0,17	0,22
11	50/52	102,5	87,5	15,0	7,80	7,00	6,86	0,94	0,62
12	38/40	110,0	105,0	5,0	7,85	7,83	7,76	0,09	0,18
14	37/41	92,5	115,0	22,5	5,22	6,30	6,02	0,80	0,35
18	46/50	95,0	105,0	10,0	6,60	7,50	7,15	0,55	0,55
19	43/47	112,5	100,0	12,5	7,16	7,16	6,81	0,35	0,28
20	39/40	115,0	105,0	10,0	6,56	7,50	7,43	0,87	-0,87
22	49/50	105,0	87,5	17,5	6,73	6,30	6,16	0,57	0,32
23	47/	105,0	92,5	12,5	7,17	7,00	6,97	0,20	0,16
24	52/54	117,5	102,5	15,0	7,50	7,00	6,86	0,64	0,42
25	48/50	105,0	112,5	7,5	6,72	8,92	8,81	0,09	0,12
27	53/55	102,5	112,5	10,0	6,57	5,87	5,73	0,84	0,84
29	18/18	100,0	120,0	20,0	5,06	5,61	5,61	0,55	-0,27
30	42/44	100,0	115,0	15,0	10,90	8,01	7,87	3,03	-2,02
31	43/45	100,0	92,5	7,5	8,60	8,24	8,07	0,53	0,70
32	35/39	112,5	102,5	10,0	8,40	8,29	7,29	1,11	1,11
33	42/50	107,5	100,0	7,5	6,55	8,34	7,78	1,23	-1,64
35	45/51	102,5	117,5	15,0	6,61	9,40	8,94	2,33	1,55
36	41/43	117,5	110,0	7,5	6,20	5,90	5,81	1,39	1,85
39	36/38	107,5	97,5	10,0	7,50	7,26	7,12	0,38	0,38
41	47/49	110,0	97,5	12,5	9,22	6,17	6,03	3,19	2,55
42	32/	117,5	105,0	12,5	6,57	6,14	6,11	0,46	0,37
44	42/44	112,5	102,5	10,0	7,50	6,44	6,34	1,16	1,16
45	37/38	117,5	110,0	7,5	7,60	7,28	7,17	0,43	0,57
46	38/	105,0	117,5	12,5	7,67	7,63	7,56	0,11	-0,08
51	46/47	102,5	112,5	10,0	6,24	7,83	7,76	1,52	1,52
52	32/33	115,0	105,0	10,0	7,50	6,23	6,16	1,34	1,34
53	43/44	112,5	92,5	20,0	8,77	6,87	6,80	1,97	0,98
54	36/38	120,0	107,5	12,5	7,34	6,52	6,38	0,96	0,76
55	41/44	115,0	97,5	17,5	8,00	7,00	6,72	1,28	0,73

Liste I Fortsetzung

Nr.	Alter	P ₁	P ₂	Δ P	c ₁	c ₂	c ₂ korr.	Δ c	Δ c _p
56	48/52	102,5	110,0	7,5	7,10	7,43	7,15	0,05	0,06
57	31/34	115,0	107,5	7,5	7,90	7,60	7,43	0,47	0,62
58	44/46	110,0	100,0	10,0	7,50	5,75	5,61	1,89	1,89
60	50/51	115,0	92,5	22,5	7,33	7,85	7,78	0,45	-0,20
61	50/54	117,5	102,5	15,0	7,40	7,67	7,39	0,01	0,00
62	39/40	117,5	100,0	17,5	7,43	8,00	7,93	0,50	-0,28
64	47/48	110,0	97,5	12,5	6,72	6,98	6,61	0,11	0,08
65	43/48	107,5	115,0	7,5	7,32	7,87	7,59	0,27	0,36
67	45/47	102,5	107,5	5,0	8,16	8,41	8,25	0,09	0,18
70	16/19	117,5	102,5	15,0	7,17	7,59	7,38	0,21	-0,14
71	50/52	110,0	90,0	20,0	7,66	7,66	7,56	0,10	0,05
74	47/48	97,5	110,0	12,5	7,83	7,85	7,82	0,01	-0,01
77	40/41	95,0	102,5	7,5	7,57	6,13	6,06	0,51	-0,68
78	37/	115,0	107,5	7,5	7,83	7,32	7,29	0,54	0,72
81	52/53	102,5	117,5	15,0	9,40	9,20	9,16	0,23	-0,15
85	48/50	107,5	112,5	5,0	7,10	7,66	7,56	0,46	0,92
86	23/31	107,5	100,0	7,5	7,20	7,35	7,21	0,01	-0,01
88	52/53	102,5	117,5	15,0	8,17	8,22	8,14	0,93	0,62
89	51/	110,0	120,0	10,0	8,72	9,63	9,55	0,39	0,52
91	37/39	115,0	97,5	17,5	6,72	5,90	5,81	0,98	1,96
93	40/41	110,0	105,0	5,0	7,83	6,92	6,85	0,08	0,08
94	44/45	100,0	110,0	10,0	7,66	7,83	7,74	0,80	1,06
95	43/44	100,0	92,5	7,5	7,00	6,27	6,20	0,45	-2,90
97	42/47	102,5	107,5	5,0	7,75	6,61	6,30	0,14	0,14
99	45/51	100,0	90,0	10,0	6,88	7,16	6,74	0,30	0,24
100	42/46	112,5	100,0	12,5	7,34	7,32	7,04	0,48	0,48
101	44/45	110,0	100,0	10,0	6,60	7,15	7,08	1,14	-1,14
104	44/45	95,0	105,0	10,0	7,50	6,43	6,36	1,45	-1,45
105	32/33	95,0	105,0	10,0	6,50	5,12	5,05	0,67	0,53
108	44/45	85,0	97,5	12,5	6,39	7,20	7,06	0,36	-0,28
109	43/51	117,5	105,0	12,5	7,78	8,35	8,14	0,71	0,71
112	51/54	97,5	107,5	10,0	5,67	6,55	6,38	0,19	0,19
113	35/38	102,5	112,5	10,0	6,56	7,00	6,75	0,57	0,45
115	36/38	115,0	102,5	12,5	6,43	6,00	5,86	1,12	-1,12
116	47/54	102,5	112,5	10,0	7,55	9,20	8,67		

Liste I Fortsetzung

Nr.	Alter	P ₁	P ₂	ΔP	c ₁	c ₂	c ₂ korr.	Δ ^c	Δ ^c _p
117	53/56	112,5	117,5	5,0	7,90	7,53	7,32	0,58	-1,16
118	35/38	95,0	107,5	12,5	7,40	6,66	6,45	0,95	-0,76
119	52/56	110,0	117,5	7,5	7,76	7,17	6,87	0,89	1,18
120	49/51	95,0	102,5	7,5	7,00	7,32	7,18	0,18	0,24
121	45/52	102,5	117,5	15,0	7,50	7,16	6,72	0,28	-0,18
124	37/39	117,5	97,5	20,0	7,33	7,29	7,15	0,35	0,17
126	42/44	112,5	102,5	10,0	7,30	7,00	6,79	0,54	0,54
127	35/41	120,0	112,5	7,5	7,58	7,66	6,58	0,72	0,96
129	27/28	120,0	110,0	10,0	6,25	6,57	6,43	0,04	0,18
130	34/38	115,0	105,0	10,0	8,32	8,16	7,95	0,37	0,29
133	44/46	112,5	100,0	12,5	9,60	10,20	10,12	0,52	0,52
135	54/54	100,0	120,0	20,0	7,34	6,25	6,25	0,35	-1,40
136	29/29	110,0	97,5	7,5	8,00	7,84	7,55	0,01	-0,01
137	41/48	102,5	95,0	7,5	6,62	7,40	7,25	0,75	1,00
139	48/51	115,0	105,0	10,0	6,45	6,72	6,34	0,28	0,28
140	43/48	110,0	110,0	7,5	6,80	6,92	6,44	0,01	0,01
143	37/40	107,5	115,0	7,5	6,37	5,92	5,89	0,11	0,07
144	50/	115,0	95,0	15,0	6,70	6,60	6,29	0,51	0,29
140	37/41	120,0	97,5	17,5	6,15	4,10	6,96	0,74	0,98
153	42/45	115,0	112,5	7,5	7,60	7,68	7,64	0,73	0,41
154	48/49	100,0	97,5	5,0	7,10	7,00	6,72	0,52	1,14
156	46/49	112,5	105,0	7,5	8,15	8,15	7,62	0,48	0,64
157	33/35	110,0	117,5	7,5	7,20	6,42	8,08	2,15	1,58
160	51/52	117,5	100,0	10,0	5,62	5,62	5,62	1,58	1,22
160	52/57	117,5	100,0	17,5	6,30	6,30	6,27	0,65	0,86
161	25/	110,0	107,5	7,5	6,62	6,14	6,48	0,18	0,60
(1)	25/27	100,0	107,5	10,0	7,67	8,18	8,11	0,44	0,35
(2)	27/29	117,5	107,5	12,5	8,18	7,32	7,07	1,11	0,74
(3)	29/30	117,5	110,0	15,0	7,90	7,85	7,71	0,19	0,25
(4)	51/52	97,5	95,0	2,5	7,85	6,12	5,98	1,87	0,68
(1)	52/56	107,5	100,0	27,5	6,12	6,56	6,42	0,30	0,17
(2)	52/54	107,5	87,5	17,5					
(2)	51/53	87,5	105,0						
(2)	53/55								

Liste I Fortsetzung

Nr.	Alter	P ₁	P ₂	ΔP	c ₁	c ₂	c ₂ korr.	Δ c	Δ c _p
167	41/42	97,5	112,5	15,0	8,16	8,65	8,58	0,42	0,28
	42/43	112,5	117,5	5,0	8,65	8,83	8,74	0,09	0,18
	43/45	117,5	110,0	7,5	8,83	8,50	8,36	0,47	0,62
	50/51	107,5	97,5	10,0	8,36	7,15	7,08	1,28	1,28
168	51/52	97,5	102,5	17,5	7,15	7,67	7,61	0,46	0,46
	43/45	100,0	117,5	17,5	5,87	6,73	6,59	0,72	0,41
169	45/46	117,5	100,0	17,5	6,73	6,92	6,88	0,15	-0,08
	46/50	100,0	120,0	20,0	6,92	7,28	7,00	0,08	0,04
	50/51	120,0	105,0	15,0	7,28	6,56	6,46	0,82	0,54
	48/50	112,5	102,5	10,0	7,85	7,60	7,53	0,32	0,32
170	50/51	102,0	97,5	10,0	7,60	6,15	6,08	1,52	1,52
	56/57	92,5	115,0	22,5	7,14	8,16	8,07	0,93	0,41
	57/58	115,0	95,0	20,0	8,16	8,00	7,93	0,23	0,11
	(4)								

Liste II Männer über 55 Jahre

Nr.	Alter	P ₁	P ₂	ΔP	c ₁	c ₂	c ₂ korr.	Δc	Δc _p
2	57/58	100,0	90,0	20,0	6,26	6,14	6,03	0,23	0,11
3	62/63	97,5	90,0	7,5	8,55	10,00	9,01	0,51	0,72
4	56/57	105,0	97,5	7,5	7,00	6,77	6,68	0,32	0,42
5	55/56	100,0	107,5	7,5	7,42	6,86	6,79	0,63	0,84
9	57/59	112,5	100,0	12,5	8,85	7,50	7,14	1,71	1,36
15	58/59	110,0	120,0	10,0	9,60	8,90	8,81	0,79	-0,79
16	54/62	115,0	110,0	5,0	7,20	8,16	7,26	0,06	-0,12
21	72/73	102,5	92,5	10,0	10,68	8,60	8,51	2,17	2,17
26	56/58	115,0	107,5	7,5	7,50	7,90	7,78	0,81	-0,37
28	57/60	110,0	100,0	10,0	7,50	7,00	6,69	0,81	-0,81
34	61/62	115,0	92,5	22,5	10,22	10,28	10,15	0,07	0,03
38	54/64	97,5	110,5	12,5	6,30	8,00	7,12	0,80	0,64
40	65/66	90,0	105,0	15,0	6,30	7,21	7,10	0,82	0,54
43	72/74	115,0	100,0	15,0	8,00	6,00	5,78	2,22	1,48
47	64/66	92,5	107,5	15,0	5,34	7,50	7,36	2,02	1,34
48	60/	97,5	107,5	10,0	8,80	8,80	8,71	0,09	-0,09
49	53/59	102,5	112,5	7,5	7,84	8,73	8,12	0,68	-0,68
59	68/74	107,5	100,0	5,0	7,40	7,70	8,23	0,39	-0,52
63	58/59	107,5	102,5	7,5	10,50	11,20	11,07	0,57	-0,57
66	69/71	105,0	115,0	10,0	8,28	8,76	8,67	0,39	0,52
68	69/70	105,0	112,5	7,5	8,73	10,20	10,11	0,38	0,21
69	73/74	100,0	117,5	17,5	7,32	7,00	6,94	0,38	0,38
72	61/	115,0	105,0	10,0	7,32	6,56	6,39	0,93	1,86
73	54/56	105,0	100,0	5,0	4,50	8,34	8,30	0,80	-1,06
75	55	115,0	107,5	7,5	4,50	9,78	9,60	2,10	2,10
76	64/65	102,5	115,0	10,0	6,29	7,83	7,46	1,17	1,17
79	60/66	105,0	115,0	10,0	8,00	8,15	8,06	0,06	0,04
80	56/57	95,0	110,0	15,0	8,80	8,56	8,42	0,38	0,50
82	64/65	117,5	110,0	7,5	7,65	7,68	7,55	0,10	0,20
83	56/58	115,0	110,0	5,0	7,82	7,34	7,12	0,70	0,93
84	61/63	105,0	97,5	7,5	7,82	7,34	7,12	0,70	0,93
87	58/60	115,0	105,0	10,0	7,66	7,61	7,43	0,23	0,23

Nr.	Alter	P ₁	P ₂	ΔP	c ₁	c ₂	c ₂ korr.	Δc	Δc _p
90	57/58	102,5	120,0	17,5	6,57	7,16	7,12	0,55	0,31
92	50/61	117,5	102,5	15,0	7,46	7,83	6,98	0,48	0,32
96	59/	110,0	95,0	15,0	9,78	9,18	9,12	0,66	0,44
98	60/61	115,0	100,0	15,0	8,15	7,10	7,01	1,14	0,76
102	60/63	117,5	107,5	10,0	7,83	8,91	8,64	0,81	-0,81
103	58/59	110,0	95,0	15,0	8,00	7,63	7,54	0,46	0,30
106	62/64	115,0	97,5	17,5	9,80	8,44	8,30	1,50	0,85
107	56/60	95,0	112,5	17,5	6,00	6,43	6,00	0,00	0,00
110	63/64	120,0	112,5	7,5	9,19	9,20	9,11	0,08	0,10
111	56/	87,5	107,5	20,0	8,10	6,03	5,76	0,03	2,64
114	61/65	105,0	95,0	10,0	8,40	9,88	9,44	1,81	0,80
122	65/67	117,5	95,0	22,5	11,25	5,50	5,45	2,91	1,94
123	57/57	115,0	100,0	15,0	8,36	8,32	8,05	0,95	0,47
125	58/61	100,0	120,0	20,0	7,10	7,50	7,50	0,18	0,14
131	67/	107,5	120,0	12,5	7,32	7,68	7,41	0,25	-0,33
132	62/63	110,0	117,5	7,5	7,66	7,35	7,22	0,87	1,16
134	64/66	97,5	102,5	5,0	7,94	7,00	8,81	0,22	0,44
138	59/62	110,0	117,5	7,5	7,94	9,00	9,77	0,73	0,17
141	60/65	100,0	115,0	15,0	10,50	10,22	9,28	0,22	0,45
145	62/67	115,0	102,5	12,5	7,50	9,76	9,04	0,34	0,82
146	70/77	105,0	112,5	7,5	7,16	8,00	7,78	0,62	0,51
147	63/65	92,5	100,0	7,5	6,85	7,50	7,47	0,62	0,51
149	57/	100,0	120,0	20,0	6,59	11,25	11,12	1,53	2,04
150	64/65	100,0	117,5	7,5	7,69	9,80	9,78	2,09	2,09
151	71/71	100,0	110,0	10,0	12,30	11,75	11,70	0,60	-0,56
152	72/73	105,0	97,5	7,5	7,17	8,00	7,73	1,54	1,25
155	58/61	110,0	100,0	10,0	10,20	12,25	11,77	2,04	2,12
158	75/80	107,5	120,0	12,5	12,23	10,20	10,19	1,79	1,43
159	64/	110,0	102,5	7,5	9,60	12,00	11,99	1,15	0,76
(1)	64/	102,5	115,0	12,5	8,90	8,90	8,45	1,15	0,76
(2)	65/69	115,0	100,0	15,0	8,90	10,00	9,87	0,97	0,77
(1)	69/71	100,0	112,5	12,5	7,00	7,60	7,33	0,33	0,13
(2)	67/70	92,0	117,5	25,0	7,60	7,00	6,91	0,69	0,46
(1)	70/	117,5	102,5	15,0	7,85	8,17	7,67	0,18	-0,18
(2)	54/65	100,0	110,0	10,0	7,85	8,17	7,67	0,18	-0,18

- 10) HIERONYMI, G. Über den altersbedingten Formwandel elastischer und muskulärer Arterien. Berlin-Göttingen-Heidelberg, Springer-Verlag (1956)
- 11) KAPAL, E.,
MARTINI, F.,
WETTERER, E. Untersuchungen über die Länge der stehenden Welle im arteriellen System des Menschen
Z.Biol. 104, 256 (1951)
- 12) LANGING, A.J. The Arterial Wall.
Williams und Wilkins, Baltimore (1959)
- 13) LEAROYD, B.M.,
TAYLOR, M.G. Alterations with Age in the Visco-Elastic Properties of Human Arterial Walls.
Circul.Res. 18, 278 (1966)
- 14) MOENS, A.J. Die Pulskurve, Leyden (1878)
- 15) REICHEL, H. und
VONDERLAGE, M. Der Einfluß steigender Arterienkonzentration auf die Wandeigenschaft der Aorta.
Verh.Dtsch.Ges.Kreislaufforschung 35, 327 (1969)
- 16) REICH, Th. Idee und Praxis der medizinischen Statistik, 1964
- 17) SCHIMMLER, W. Untersuchungen zu Elastizitätsproblemen der Aorta.
Arch.f. Kreislaufforschung 47, 189 (1965)
- 18) SCHIMMLER, W. Über den Einfluß der diabetischen Stoffwechselstörung auf die Arterienelastizität.
Arch.f. Kreislaufforschung, 62, 25 (1970)
- 19) SCHIMMLER, W. Zur Physiologie und Pathophysiologie des alternden Arteriensystems.
Fol.Angiol. 21, 149 (1973)

- 20) SCHIMMLER, W. Longitudinale Verlaufsstudie über den Altersanstieg der Pulswellengeschwindigkeit in der Aorta-Iliaca bei Normo- und Hypertonikern.
Z. Kreislaufforschung, im Druck
- 21) SCHIMMLER, W. Über die Beziehung zwischen der Puls-
wellengeschwindigkeit in der Aorta-
Iliaca und dem Blutdruck bei longi-
tudinaler Beobachtung.
Arch. f. Kreislaufforschung, im Druck
- 22) SCHIMMLER, W. Physiologie und Pathophysiologie der
arteriellen Pulswellengeschwindigkeit.
Verh.Dtsch.Ges.Kreislaufforschung,
1974, im Druck
- 23) WETTERER, und Grundlagen der Dynamik des Arterien-
KENNER, Th. pulses.
Springer-Verl. Berlin-Heidelberg-
New York 1968
- 24) WETTERER, E. und Über die Gesamtelastizität des
PIEPER, H. arteriellen Windkessels und ein
experimentelles Verfahren zu ihrer
Bestimmung am lebenden Tier.
Z.Biol. 106, 23 (1953)
- 25) WEZLER, K., Der Einfluß der Gefäßmuskulatur
BÖGER, A. auf den arteriellen Windkessel.
Z.Kreislaufforschung, 28, 759 (1936)
- 26) WEZLER, K., Die Dynamik des arteriellen Systems.
BÖGER, A. Erg.Physiol. 41, 292 (1939)
- 27) WEZLER, K., Die normalen Alterskurven der Puls-
STANDL, R. wellengeschwindigkeit in elastischen
und muskulären Arterien des Menschen.
Z.Biol. 97, 265 (1936)
- 28) WOLINSKY, H. Response of the Rat Aortic Media to
Hypertension.
Circul.Res. 26, 507 (1970)

- 29) ZANGENEH, M.,
NASSERESLAMI, H.

Das Verhalten der Pulswellenge-
schwindigkeit im Bein in Abhängig-
keit vom Lebensalter und Geschlecht.
Z.Kreislaufforschung 56, 368 (1967)

L e b e n s l a u f

Maximilian Wilhelm H o o f f a c k e r ,

geboren am 15.7.1946 in München

Sohn von Max Hooffacker, Kaufmann

und Johanna Hooffacker, geb. Gundl

Volksschule: 1952 - 1959 in München

Gymnasium: 1959 - 1962 Humanistisches Gymnasium
der Benediktiner in Scheyern

1962 - 1969 Wilhelmsgymnasium in München

Hochschulreife: 28.6.1969 Wilhelmsgymnasium in München

Studium der Medizin: Beginn WS 1969/70 an der LM-Universität
München

Physikum: SS 1973

SS 1974 und WS 1974/75 Erstellung der vorliegenden Dissertation

Staatsexamen: März bis Juli 1976

München, den 1. Juli 1976

Maximilian Hooffacker

